= ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ =

УДК 622.511: 556.3: 550.42 DOI: <u>10.23671/VNC. 2019.3.36478</u>

Оригинальная статья

Изменение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе за 25 лет

А.И. Гавришин, д. г.-м. н., проф.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: agavrishin@rambler. ru

Статья поступила: 9 сентября 2019, доработана: 23 сентября 2019, одобрена в печать: 24 сентября 2019.

Аннотация: Актуальность работы. Многие десятилетия угледобывающая промышленность оказывает интенсивное негативное влияние на все компоненты окружающей среды в Восточном Донбассе. Одним из наиболее мощных факторов преобразования гидрогеохимических условий являются шахтные воды являющиеся объектом исследования. Особенно интенсивные изменения концентраций макрокомпонентов в шахтных водах произошли в последние 25 лет поле массовой ликвидации угольных шахт в регионе. Методы исследования. Сопоставление концентраций компонентов производится с предельно-допустимой концентрацией (ПДК) для вод хозяйственно питьевого и культурно бытового водопользования выполнено по Гигиеническим нормативам, с использованием статистических методов оценки параметров. Результаты работы. Для всех лимитируемых макрокомпонентов обнаружено превышение ПДК вод хозяйственнопитьевого и культурно-бытового водопользования по средним концентрациям, а для некоторых компонентов даже по минимальным значениям. По средним концентрациям 20-ти микроэлементов превышение ПДК обнаружено в 53-х% компонентов, по максимальным концентрациям в 73%. Средние концентрации по ряду элементов в десятки раз превышают соответствующие ПДК, а по максимальным концентрациям превышение составляет сотни раз. В грунтовых и поверхностных водах произошло увеличение средних, медианных и максимальных концентраций макрокомпонентов в 1,2-2,0 раза. По средним концентрациям превышение ПДК отмечено для 67%, а по максимальным – для 83-100% лимитируемых компонентов. После ликвидации угольных шахт, произошло резкое усилении процессов окисления сульфидов и серы, содержащихся в углях и вмещающих горных породах, и растворение сульфатов. Сравнение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе до и после массовой ликвидации угольных шахт (за 25 лет) выявило значительное ухудшение качества шахтных вод и усиление процессов загрязнения грунтовых и поверхностных вод в регионе. Практическая значимость работы. Полученные в работе результаты свидетельствуют о необходимости проведения реабилитационных мер и о совершенствовании очистных технологий.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, шахтные, грунтовые, поверхностные воды, химический состав, ликвидация шахт.

Для цитирования: Гавришин А. И. Изменение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе за 25 лет. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9 (3): 36-46. DOI: 10.23671/VNC. 2019.3.36478.

37

=GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY =

DOI: 10.23671/VNC. 2019.3.36478

Original paper

Changing the Hydrogeochemical Condition in the Eastern Donbass for 25 years

A.I.Gavrishin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya Str., Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Received 9 September 2019; revised 23 September 2019; accepted 24 September 2019.

Abstract: Relevance. The mining industry has had an intense negative impact on all environmental components in the East Donbass for many decades. One of the most powerful factors in the conversion of hydrogeochemical conditions is mine water, which is the subject of research. Particularly intense changes in the concentrations of macrocomponents in mine waters have occurred in the last 25 years in the field of mass liquidation of coal mines in the region. Methods. Comparison of the concentrations of the components is carried out with the maximum allowable concentration (MAC) for drinking water and domestic water used in accordance with hygienic standards, using statistical methods for evaluating the parameters. **Results.** For all the limiting macrocomponents, MAC was exceeded by the average concentration of drinking water and domestic water, and for some components even by the minimum values. For average concentrations of 20 microelements, MAC exceedance was found in 53% of the components, and for maximum concentrations of 73%. The average concentrations for a number of elements are tens of times higher than the corresponding MACs, and for the maximum concentrations, the exceedance is hundreds of times. In ground and surface waters, an increase in the average, median and maximum concentrations of macrocomponents was 1.2-2.0 times. In average concentrations, MAC exceedance was noted for 67%, and in maximum concentrations - for 83-100% of limited components. After the liquidation of coal mines, there was a sharp increase in the oxidation processes of sulfides and sulfur contained in coals and host rocks, and the dissolution of sulfates. A comparison of the hydrogeochemical conditions in the East Donbass before and after the massive liquidation of coal mines (over 25 years) revealed a significant deterioration in the quality of mine water and an increase in the pollution of ground and surface water in the region. Practical significance. The results obtained in the work indicate the need for rehabilitation measures and the improvement of treatment technologies.

Keywords: Eastern Donbass, mine, groundwater, surface water, chemical composition, elimination of mines.

For citation: Gavrishin A.I. Changing the Hydrogeochemical Condition in the Eastern Donbass for 25 years. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(3): 36-46. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36478.

Введение

Угледобывающая и углеперерабатывающая промышленности оказывают существенное негативное влияние на воздушную, водную, геологическую, биологическую и социальные среды в Восточном Донбассе. В регионе формируются мощные потоки загрязнения окружающей среды, происходит проседание земной поверхности, осушение массивов горных пород, деформация зданий, сооружений и коммуникаций и многие другие негативные явления [Гавришин, 2018; Грязев и др., 2018; Chen, 2014; Neidell et. al., 2019; Wang et al., 2015]. При реструктуризации угольной промышленности и массовой ликвидации угольных шахт в рассматриваемом регионе еще более усилились процессы загрязнения окружающей среды, подтопления территории, техногенной трещиноватости горных пород, выделения «мертвого воздуха», разрушения производственных и жилых зданий [Гавришин, 2018; Гавришин и др., 2018; Закруткин и др., 2014, 2015; Мохов, 2012; Appelo, Postma,

9 (3) 2019

Таблица 1. / Table 1.

Средний состав шахтных, грунтовых и поверхностных вод в 2015 году (мг/л и %-моль). / The average composition of mine, ground and surface waters in 2015 (mg / l and% mol).

Вид вод / Type of water	pН	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	М
	6.05	591	2837 +	347 +	293	267 +	966 +	5201
maximile / while water	0,95	12	76	12	17	28	55	3301 -
Грунтовые / Ground	7.2	472	1511 +	333 +	325	152 +	437 +	2220 +
water	1,2	16	65	19	33	27	40	5250 +
Поверхностные /	7,95	428	1773 +	212	267	146 +	575 +	2401
Surface water		14	74	12	26	24	50	5401 -
Чистые грунтовые /	7,63	289	267	288	102	40	230	1215
Clean groundwater		26	30	44	28	18	54	1213
Чистые поверхностные	7.09	303	304	200	153	85	50	1005
/ Clear surface water	7,98	30	37	33	46	42	12	1095

Примечание. Здесь и во всех таблицах знак «+» обозначает превышение концентраций компонентов по ПДК для вод хозяйственно- питьевого и культурно-бытового водопользования, М – минерализация. /

Note. Here and in all tables, the "+" sign marks the excess of the components concentrations according to the MPC for household drinking water and cultural and domestic water use, M is mineralization. /

2005; Gavrishin, 2018; Giulio, Jackson, 2016; Mokhov, 2012; Pfunt et al., 2016]. Это потребовало переселения части населения на безопасные территории. Особенно интенсивные изменения происходят в химическом составе вод региона [Гавришин, 2019; Закруткин и др., 2014, 2015; Gavrishin, 2018; Reshetnyak et al., 2014; Zakrutkin, Sklyarenko, 2015]. В табл. 1 приведен средний химический состав шахтных, грунтовых и поверхностных вод и указано превышение ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (знак «+») [ГН 2.1.5.1315-03, 2003]. По большинству макрокомпонентов их содержания превышают ПДК в 3-5 раз. По сравнению с чистыми водами содержания многих лимитируемых компонентов повысились в грунтовых и поверхностных водах в 4-5 раз (табл. 1).

Наиболее существенные изменения химического состава шахтных, грунтовых и поверхностных вод в Восточном Донбассе произошли под влиянием массовой ликвидации угольных шахт. В данной работе выполнен сравнительный анализ трансформации гидрогеохимических условий за последние 25 лет: первый период характеризует ситуацию в 1990 году – до ликвидации шахт, второй – после стабилизации процесса ликвидации шахт в 2015 году.

Методика исследований

Анализ гидрогеохимической информации выполнен с привлечением математико-статистических методов оценки параметров: среднего арифметического, медианы, минимального и максимального значения и стандарта (среднего квадратического отклонения). Сравнение концентраций компонентов произведено с ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по Гигиеническим нормативам ГН 2.1.5.1315-03 [ГН 2.1.5.1315-03, 2003].

В название вод по химическому составу включаются компоненты с концентрациями более 25%-молей и располагаются в порядке увеличения концентраций.

Изменение химического состава шахтных вод

Изменение химического состава шахтных вод изучено по результатам анализа 41 пробы в 1990 г. и 40 проб в 2015 году. В таблицах 2 и 3 приведены оценки статистических параметров распределения содержаний макрокомпонентов в шахтных водах Восточного Донбасса в указанные годы. Медианные значения изменились незначительно (несколько увеличились для концентраций HCO₃, SO₄, Mg и уменьшились для Cl и Na), но существенно выросла изменчивость концентраций (стандарт) за счет высоких максимальных значений, особенно для SO₄, Mg, M. Для всех лимитируемых компонентов обнаружено превышение ПДК вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по средним концентрациям, а для некоторых компонентов даже по минимальным значениям (табл. 2, 3).

Изменения концентраций макрокомпонентов в шахтных водах до и после массовой ликвидации угольных шахт (через 25 лет) наиболее наглядно представлены в таблице 4. По общему составу воды из хлоридно-сульфатных натриевых преобразовались в сульфатные магниево-натриевые. В 1,5-2 раза выросли концентрации SO₄, Mg и величина M, уменьшились концентрация Cl и величина pH. Особенно интенсивно в 9,4 раза выросла концентрация Fe. Все это свидетельствует о резком усилении процессов окисления сульфидов и серы, содержащихся в углях и вмещающих горных породах, и растворении сульфатов, как

Таблица 2. / Table 2.

The encineer composition of mile waters in 1990 (ing/)							
Показатели / Indicators	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard		
pH	7,5	7,6	3,0 +	8,1	0,99		
HCO ₃	580	500	0	2086	362		
SO ₄	1700 +	1548	585 +	4915 +	869		
Cl	730 +	451	142	3122 +	639		
Са	205	190	49	761	131		
Mg	137 +	121	18	291 +	61		
Na	1035 +	929	292 +	2827 +	526		
М	4390 +	4061	2254 +	9621 +	1565		

Химический состав шахтных вод в 1990 г. (мг/л) / The chemical composition of mine waters in 1990 (mg/l) /

Таблица 3. / Table 3.

Химический состав шахтных вод в 2015 г. (мг/л) / The chemical composition of mine waters in 2015 (mg/l)

Компонент / Component	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard
pН	6,95	7,04	3,67 +	9,04 +	0,92
HCO ₃	591	587	6	1244	290
SO ₄	2837 +	2058	607 +	12084 +	2178
Cl	347 +	214	10	1897 +	333
Са	293	296	10	556	127
Mg	267 +	216	6	1581 +	262
Na	966 +	518	62	2116 +	465
М	5301 +	4516	1624 +	17496 +	3171

9 (3) 2019

следствие ликвидации угольных шахт [Гавришин, 2018; Bazhin et al., 2016; Gavrishin, 2018; Mish et al., 2016].

Таблица 4. / Table 4.

Средний химический состав шахтных вод (мг/л и %-моли). / The average chemical composition of mine waters (mg/l and% mol).

Период / Period	pН	HCO ₃	SO_4	Cl	Са	Mg	Na	Fe	М
1000 507	7.5	580	1700	730	205	137	1035	3,6	4390
1990 год	7,5	15	54	31	15	17	68		
2015 год	6,9 <u>591</u> 12	591	2837	347	293	267	966	2.4	5201
		12	76	12	17	28	55	3,4	5301

По результатам анализа состава шахтных вод в 2015 году (табл. 5) выполнено сравнение концентраций микроэлементов с ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурнобытового водопользования. По средним концентрациям превышение ПДК обнаружено в 53% компонентов, по максимальным концентрациям в 73%.

Таблица 5. / Table 5.

Элемент / Element	Среднее / The	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard				
Al	3,01 +	0,11	0,02	105 +	21,7				
Be	0,0017 +	0,0007	0,0000	0,04 +	0,01				
Fe	33,7 +	6,2	0,06	401 +	97				
Cd	0,0017 +	0,0001	0,0001	0,04 +	0,01				
K	25,5	13,3	1,5	272 +	56				
Со	0,028	0,001	0,001	0,042	0,1				
Li	0,31 +	0,13	0,01	2,2 +	0,51				
Cu	0,005	0,002	0,001	0,061	0,013				
Mn	5,1 +	2,7	0,001	38,9 +	9,4				
Ni	0,073+	0,001	0,001	1,8 +	0,38				
Pb	0,0011	0,0010	0,0010	0,003	0,0004				
Se	0,017 +	0,005	0,005	0,12 +	0,029				
Sr	6,1	5,7	0,15	14,5 +	3,65				
Cr	0,007	0,002	0,001	0,073	0,017				
Zn	0,134	0,043	0,005	2,55 +	0,53				

Характеристика содержаний микроэлементов в шахтных водах в 2015 году (мг/л) / Description of trace elements in mine waters in 2015 (mg/l)

Средние концентрации по ряду элементов во много раз превышают соответствующие ПДК (например, по Fe в 100 раз, по Mn в 50, по Li в 10), а по максимальным концентрациям превышение составляет сотни раз (например, по Fe в 1300, по Mn в 400, по Al в 520, по Be в 200 раз). /

The average concentrations for a number of elements are many times higher than the corresponding MPCs (for example, for Fe by 100 times, for Mn by 50, for Li by 10), and in the maximum concentrations, the excess is hundreds of times (for example, for Fe by 1300, for Mn by 400, for Al by 520, for Be by 200 times).

Сравнение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе до и после массовой ликвидации угольных шахт (за 25 лет) свидетельствует о значительном ухудшении качества шахтных вод в регионе. Наиболее резко выросли концентрации SO₄, Mg, Fe и величина M, уменьшились концентрация Cl и величина pH. По микроэлементам выявлены существенные превышения ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (в десятки и сотни раз для Fe, Mn, Li, Be и др.). Все это свидетельствует о том, что шахтные воды все время являются мощным источником загрязнения природных вод в регионе [Гавришин, 2018, 2019; Закруткин и др., 2014, 2015; Gavrishin, 2018; Zakrutkin, Sklyarenko, 2015].

Изменение химического состава грунтовых вод

Изменение химического состава грунтовых вод изучено по результатам анализа 277 проб в 1990 г. и 239 проб в 2015 году. Сравнение данных таблицах 6 и 7 (приведены оценки статистических параметров распределения содержаний макрокомпонентов в грунтовых водах Восточного Донбасса в указанные годы) показывает, что произошло увеличение средних, медианных и максимальных концентраций макрокомпонентов в 1,5-2,0 раза. По средним концентрациям превышение ПДК отмечено для 67%, а по максимальным – для 100% лимитируемых компонентов.

Таблица 6. / Table 6.

	The chemical composition of ground water in 1990 (ing.).							
Компонент / Component	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard			
pН	7,2	7,2	6,2	9,8 +	0,43			
HCO3	385	364	61	999	130			
SO4	913 +	758	69	2804 +	625			
CL	327	268	21	1679 +	265			
Ca	223	220	16	657	114			
Mg	98 +	88	10	321 +	57			
Na	365 +	325	5	1253 +	224			
М	2265 +	2016	380	5526 +	1065			

Химический состав грунтовых вод в 1990 году (мг/л). / The chemical composition of groundwater in 1990 (mg/l).

Таблица 7. / Table 7.

Компонент / Среднее / The Медиана / Минимум / Максимум / Стандарт / Component Median Minimum Maximum Standard average 7,2 7,2 6,2 8,5 0,32 pН 472 475 37 HCO₃ 1244 153 1511 SO_4 1566 +30 5341 +772 1690 +Cl 333 231 45 259 325 320 15 125 Ca 661 146 377 +Mg 152 +26 66 Na 437 +470 17 2435 +290 М 3230 +3248 1558 8756 + 1218

Химический состав грунтовых вод в 2015 г. (мг/л). / The chemical composition of groundwater in 2015 (mg/l).

9 (3) 2019

Относительно ПДК вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для средних концентраций микроэлементов в грунтовых водах превышение отмечено в 40%, а для максимальных значений в 67% случаев (табл. 8). Средние концентрации превышают ПДК в несколько раз (Fe в 6, Mn в 6, Be в 4, Li в 2 раза), максимальные концентрации – в десятки раз (Fe в 44, Mn в 38, Al в 16, Be в 10 раз).

Таблица 8. / Table 8.

Элемент / Element	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard
Al	0,2 +	0,07	0,01	2,34 +	0,41
Be	0,0007 +	0,0007	0,0001	0,0029 +	0,0006
Fe	3,13 +	1,35	0,05	21,7 +	4,7
Cd	0,001 +	0,0004	0,0001	0,015 +	0,0023
К	14,8	10,3	0,4	68,8 +	15,3
Со	0,002	0,001	0,001	0,021	0,003
Li	0,06 +	0,05	0,01	0,3 +	0,05
Cu	0,004	0,001	0,001	0,047	0,008
Mn	0,61 +	0,27	0,001	3,84 +	0,93
Ni	0,002	0,001	0,001	0,025 +	0,004
Pb	0,001	0,001	0,001	0,003	0,0003
Se	0,016 +	0,007	0,005	0,072 +	0,017
Sr	3,1	2,7	0,07	11,0 +	2,24
Cr	0,002 -	0,001	0,001	0,029	0,004
Zn	0,08 -	0,006	0,005	0,39	0,08

Характеристика содержаний микроэлементов в грунтовых водах в 2015 году (мг/л). / Description of trace elements in groundwater in 2015 (mg/l).

Все изложенные факты свидетельствуют об усилении процессов загрязнения грунтовых вод в Восточном Донбассе после массовой ликвидации угольных шахт.

Изменение химического состава поверхностных вод

Качество химического состава поверхностных вод изучено по результатам анализа 100 проб в 2015 году. В среднем по составу поверхностные воды близки к грунтовым (табл. 1, 7 и 9). Превышение ПДК вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования для средних концентраций макрокомпонентов составляет 67% от числа лимитируемых (табл. 9), а по максимальным концентрациям – 83%.

Относительно ПДК для средних концентраций микроэлементов в поверхностных водах превышение отмечено в 40%, а для максимальных значений в 67% случаев (табл. 10). Средние концентрации превышают ПДК в несколько раз (Fe в 1,5, Mn в 6, Be в 4, Li в 5 раз), максимальные концентрации – в десятки раз (Fe в 19, Mn в 77, Al в 58, Be в 18 раз).

Поверхностные воды по составу близки к грунтовым (табл. 1), это сульфатные хлоридные магниево-кальциево-натриевые воды, в которых сформировались интенсивные потоки загрязнения [Гавришин, 2019; Gavrishin, 2018: Reshetnyak et al., 2014].

Таблица 9. / Table 9.

Характеристика химического состава поверхностных вод в 2015 г. (мг/л). / The chemical composition of surface waters in 2015 (mg/l).

9 (3) 2019

Компонент / Component	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard
pH	7,95	7,99	7,00	8,73	0,31
HCO3	428	406	98	793	142
SO4	1773 +	1585	17	4007 +	815
Cl	212	157	50	917 +	146
Ca	267	276	80	621	88
Mg	146 +	146	6	353 +	76
Na	575+	343	25	1574 +	313
М	3401 +	2948	1104	6772 +	1324

Таблица 10. / Table 10.

Характеристика содержаний микроэлементов в поверхностных водах в 2015 г. (мг/л). / Characterization of trace elements in surface waters (mg/l).

Элемент / Element	Среднее / The average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Стандарт / Standard
Al	0,34 +	0,11	0,02	11,60 +	1,18
Be	0,0008 +	0,0007	0,0001	0,0037 +	0,0006
Fe	0,45 +	0,21	0,04	5,65 +	0,68
Cd	0,0005	0,0001	0,0001	0,0065 +	0,0010
K	13,0	7,5	0,3	67,0+	14,3
Со	0,002	0,001	0,001	0,039	0,005
Li	0,16 +	0,08	0,02	0,65 +	0,15
Cu	0,003	0,002	0,001	0,009	0,002
Mn	0,61 +	0,27	0,01	7,72 +	1,00
Ni	0,009	0,001	0,001	0,482 +	0,051
Pb	0,0010	0,0010	0,0010	0,0013	0,0001
Se	0,019 +	0,009	0,005	0,070 +	0,017
Sr	3,92	3,75	0,37	8,76 +	2,15
Cr	0,0018	0,0010	0,0010	0,0060	0,0014
Zn	0,014	0,006	0,005	0,335	0,034

Заключение

Многие десятилетия угледобывающая промышленность оказывает интенсивное негативное влияние на все компоненты окружающей среды в Восточном Донбассе. Одним из наиболее мощных факторов преобразования гидрогеохимических условий являются шахтные воды. Особенно интенсивные изменения концентраций макрокомпонентов в шахтных водах произошли в последние 25 лет поле массовой ликвидации угольных шахт в регионе. Для всех лимитируемых макрокомпонентов обнаружено превышение ПДК вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [ГН 2.1.5.1315-03, 2003] по средним концентрациям, а для некоторых компонентов даже по минимальным значениям. По средним концентрациям 20-ти микроэлементов превышение ПДК обнаружено в 53-х% компонентов, по максимальным концентрациям в 73%. Средние концентрации по ряду элементов в десятки раз превышают соответствующие ПДК, а по максимальным концентрациям превышение составляет сотни раз.

В грунтовых и поверхностных водах произошло увеличение средних, медианных и максимальных концентраций макрокомпонентов в 1,2-2.0 раза. По средним концентрациям превышение ПДК отмечено для 67%, а по максимальным – для 83-100% лимитируемых компонентов. Для средних концентраций микроэлементов в грунтовых водах превышение отмечено в 40%, а для максимальных значений в 67% случаев. Средние концентрации микроэлементов превышают ПДК в несколько раз, максимальные концентрации – в десятки раз. После ликвидации угольных шахт, произошло резкое усиление процессов окисления сульфидов и серы, содержащихся в углях и вмещающих горных породах, и растворение сульфатов.

Сравнение гидрогеохимических условий в Восточном Донбассе до и после массовой ликвидации угольных шахт (за 25 лет) выявило значительное ухудшение качества шахтных вод и усиление процессов загрязнения грунтовых и поверхностных вод в регионе. Все изложенное свидетельствует о необходимости проведения реабилитационных мер и совершенствования очистных технологий.

Литература

1. Гавришин А.И. Состояние окружающей среды в районе угольных шахт Восточного Донбасса. // Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 92-96.

2. Гавришин А.И. Оценка качества химического состава поверхностных вод в Восточном Донбассе. // Геоэкология. – 2019. – №4. – С. 61-67. DOI: 10.31857/S0869-78092019461-67.

3. Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С. Распределение химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 2. – С. 5-15.

4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Минздрав. РФ. Пост. № 78. – М. – 2003. – 19 с.

5. Грязев М.В., Качурин Н.М., Стась Г.В. Пылегазовые выбросы с поверхности породных отвалов ликвидированных шахт угольного бассейна. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10. №4 (38). – С. 500-509.

6. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Гибков Е.В. Особенности химического состава и степень загрязненности подземных вод углепромышленных районов Восточного Донбасса. // Известия вузов. Северокавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 4. – С. 73-77.

7. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Родина А.О. О загрязнении подземных вод Восточного Донбасса. // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-1. – С. 47-50.

8. Мохов А.В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления. // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012. – Том 8. № 3. – С. 42-49.

9. Appelo C.A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. // 2nd ed. – Leiden: A.A. Balkema Publishers. – 2005. – 683 p.

10. Bazhin V. Yu., Beloglazov I. I., Feshchenko R. Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. // Eurasian Mining. – 2016. – No. 2. – Pp. 28-36.

11. Chen H.L. Brief analysis of the technical points about the tailings pond environmental impact assessment. // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 955-959. Pp. 1685-1689.

12. Gavrishin A.I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. // Water Resources. – 2018. – Vol. 45. No. 5. – Pp. 785-794.

13. Giulio D.C., Jackson R.B. Impact to Underground Sources of Drinking Water and Domestic

Wells from Production Well Stimulation and Completion Practices in the Pavilion, Wyoming, Field. // Environmental Science and Technology. – 2016. – Vol. 50 (8). – Pp. 4524-4536.

14. Misch D., Gross D., Huang Q., Zaccarini F., Sachsenhofer R. F. Light and trace element composition of Carboniferous coals from the Donets Basin (Ukraine): An electron microprobe study. // International Journal of Coal Geology. – 2016. – Vol. 168. – Pp. 108-118.

15. Mokhov A. V. The Hydrogeochemical Structure of Water Bodies in Flooded Openings of Coal Mines. // Reports Earth Sciences. – 2012. – Vol. 445. Part 1. – Pp. 903-905.

16. Neidell M., Gross T., Graff Z., Joshua Chang Tom Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. // American Economic Journal: Applied Economics. – 2019. – Vol. 11 (1). – Pp. 151-172.

17. Pfunt H., Houben G., Himmelsbach, T. Numerical modeling of fracking fluid migration through fault zones and fractures in the North German Basin. // Hydrogeology Journal. – 2016. – Vol. 24 (60). – Pp. 1343-1358.

18. Reshetnyak O. S., Nikanorov A. M., ZakrutkinV. Ye., Gibkov Ye. V. The chemical composition of surface waters of technogenicalli affected geo-systems in Eastern Donbas region. // European Researcher. – 2014. – No. 11-1 (86). – Pp. 1978-1992.

19. Wang Gang, Xie Jun, Xue Sheng, Wang Haiyang. Mining a coal seam below a heating goal with a force auxiliary ventilation system at Longhua underground coalmine. // International Journal of Mining Science and Technology. China. – 2015. – Vol. 25. – Pp. 67-72.

20. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). // International multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. – 2015. – Pp. 927-932.

References

1. Gavrishin A.I. The state of the environment in the region of coal mines of the East Donbass. Mountain Journal. 2018. No. 1. pp. 92–96. (In Russ.)

2. Gavrishin A.I. Assessment of the quality of the surface water chemical composition in the East Donbass. Geoecology. 2019. No. 4. pp. 61–67. (In Russ.) DOI:10.31857/S0869-78092019461-67.

3. Gavrishin A.I., Borisova V.E., Toropova E.S. The distribution of the chemical composition of mine water in the territory of East Donbass. Geology and geophysics of the South of Russia. 2018. No. 2. pp. 5–15. (In Russ.)

4. ES 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use. Hygienic standards GN 2.1.5.1315-03. Ministry of Health. RF Fast. No. 78. Moscow. 2003. 19 p. (In Russ.)

5. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Stas G.V. Dust and gas emissions from the surface of waste dumps of the liquidated mines of the coal basin. Sustainable development of mountainous areas. 2018. Vol. 10. No. 4 (38). pp. 500–509. (In Russ.)

6. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Yu., Gibkov E.V. Features of the chemical composition and the degree of contamination of groundwater in coal-mining regions of the East Donbass. University news. North-Caucasian region. Natural Sciences Series - 2014. No. 4. pp. 73–77. (In Russ.)

7. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Rodina A.O. On the pollution of groundwater in the East Donbass. Modern trends in the development of science and technology. 2015. No. 8-1. pp. 47–50. (In Russ.)

8. Mokhov A.V. Hydrodynamic evolution of the void space of coal mines under the influence of flooding. Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2012. Vol. 8. No. 3. pp. 42–49. (In Russ.)

9. Appelo C. A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. 2nd ed. Leiden: A.A. Balkema Publishers. 2005. 683 p.

10. Bazhin V.Yu., Beloglazov I.I., Feshchenko R.Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals. Eurasian Mining. 2016. No. 2. pp. 28–36.

11. Chen H.L. Brief analysis of the technical points about the tailings pond environmental impact assessment. Advanced Materials Research. 2014. Vol. 955–959. pp. 1685–1689.

12. Gavrishin A.I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. Water Resources. 2018. Vol. 45. No. 5. pp. 785–794.

13. Giulio D.C., Jackson R.B. Impact to Underground Sources of Drinking Water and Domestic Wells from Production Well Stimulation and Completion Practices in the Pavilion, Wyoming, Field. Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (8). pp. 4524–4536.

14. Misch D., Gross D., Huang Q., Zaccarini F., Sachsenhofer R. F. Light and trace element composition of Carboniferous coals from the Donets Basin (Ukraine): An electron microprobe study. International Journal of Coal Geology. 2016. Vol. 168. pp. 108–118.

15. Mokhov A.V. The Hydrogeochemical Structure of Water Bodies in Flooded Openings of Coal Mines. Reports Earth Sciences. 2012. Vol. 445. Part 1. pp. 903–905.

16. Neidell M., Gross T., Graff Z., Joshua Chang Tom Y. The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call Center Workers in China. American Economic Journal: Applied Economics. 2019. Vol. 11 (1). pp. 151–172.

17. Pfunt H., Houben G., Himmelsbach, T. Numerical modeling of fracking fluid migration through fault zones and fractures in the North German Basin. Hydrogeology Journal. 2016. Vol. 24 (60). pp. 1343–1358.

18. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., ZakrutkinV.Ye., Gibkov Ye.V. The chemical composition of surface waters of technogenicalli affected geo-systems in Eastern Donbas region. European Researcher. 2014. No. 11-1 (86). pp. 1978–1992.

19. Wang Gang, Xie Jun, Xue Sheng, Wang Haiyang. Mining a coal seam below a heating goal with a force auxiliary ventilation system at Longhua underground coalmine. International Journal of Mining Science and Technology. China. 2015. Vol. 25. pp. 67–72.

20. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass). International multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. 2015. pp. 927–932.